

# 概要

- 使用求解器（求解过程概览）
  - 设置求解器参数
  - 收敛
    - 定义
    - 监测
    - 稳定性
    - 加速收敛
  - 精度
    - 网格无关性
    - 网格自适应
  - 非稳态流模拟（后续章节中介绍）
    - 非稳态流问题设置
    - 非稳态流模型选择
  - 总结
  - 附录

# 求解过程概览

## ■ 求解参数

- 选择求解器
- 离散格式

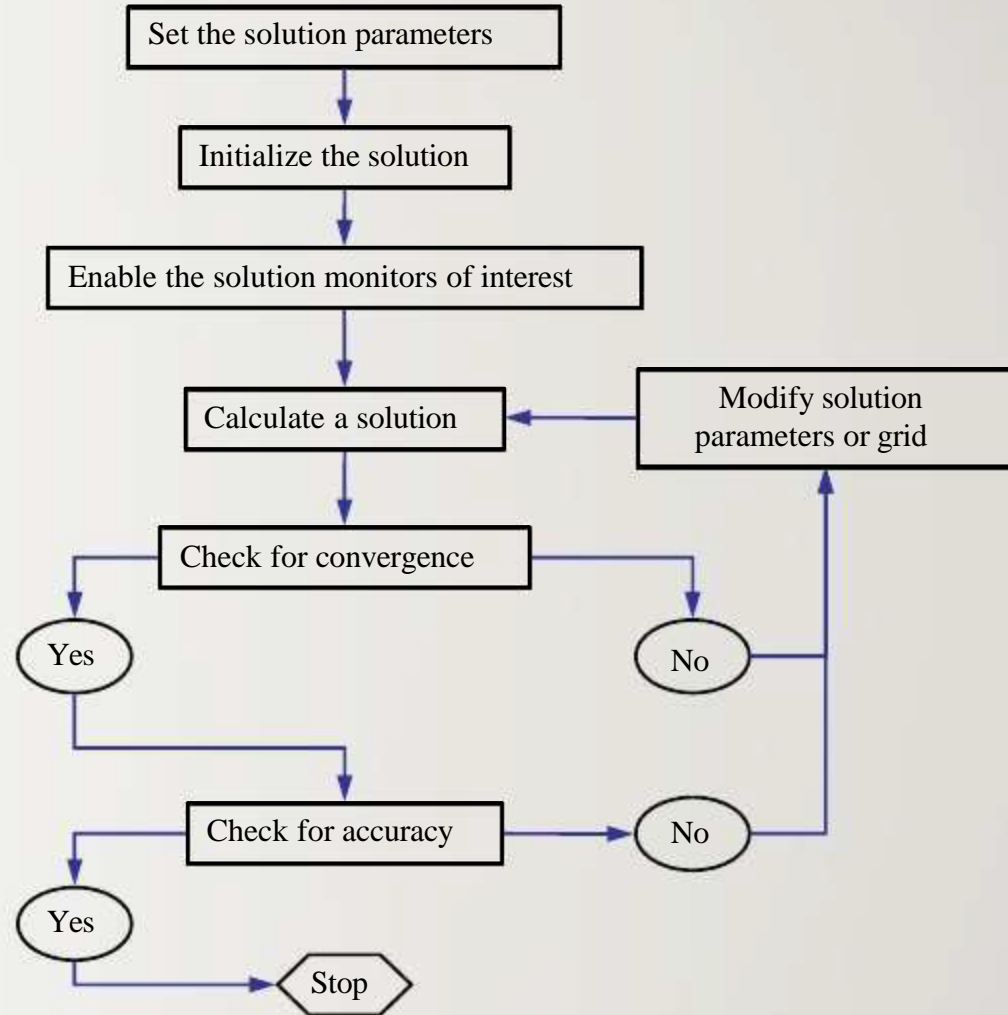
## ■ 初始条件

## ■ 收敛

- 监测收敛过程
- 稳定性
  - 设置松弛因子
  - 设置 Courant number
- 加速收敛

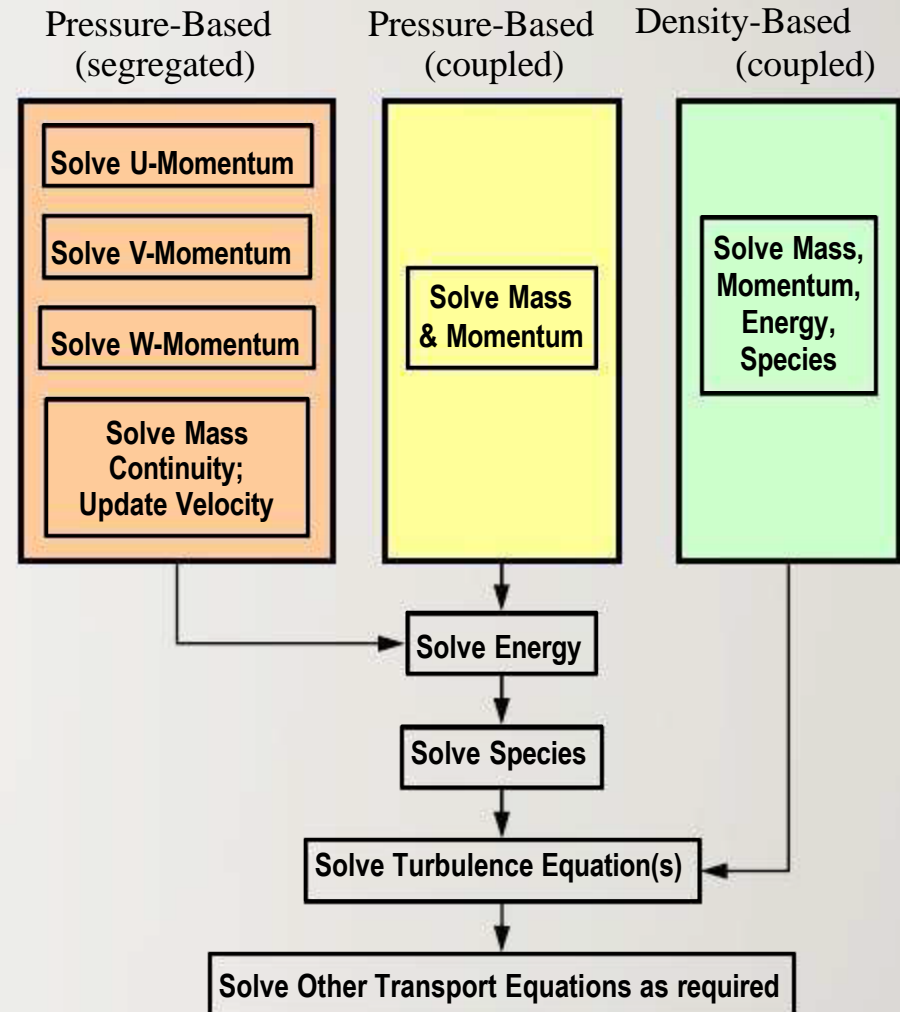
## ■ 精度

- 网格无关性
- 自适应网格



# 求解器选择

- FLUENT中有两种求解器 – 压力基和密度基。
- 压力基求解器以动量和压力为基本变量
  - 通过连续性方程导出压力和速度的耦合算法
- 压力基求解器有两种算法
  - 分离求解器– 压力修正和动量方程顺序求解。
  - 耦合求解器(PBCS)– 压力和动量方程同时求解



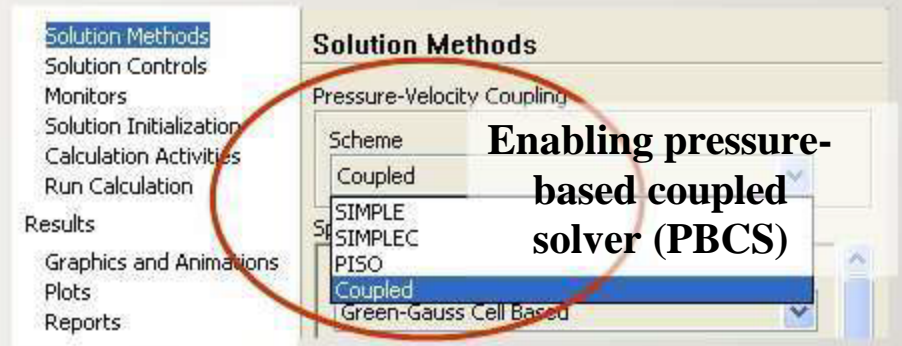
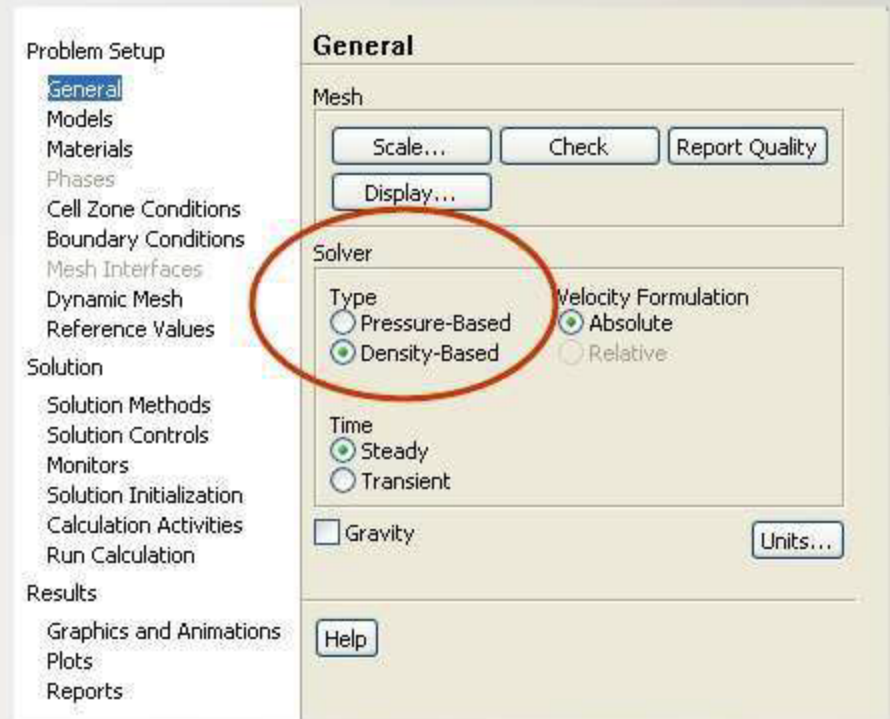
# 求解器选择

## ■ 密度基耦合求解器

- 以矢量方式求解连续性方程、动量方程、能量方程和组分方程
- 通过状态方程得到压力
- 其他标量方程按照分离方式求解

## ■ DBCS 可以显式或隐式方式求解

- 隐式 - 使用高斯赛德尔方法求解所有变量
- 显式: 用多步龙格库塔显式时间积分法。



# 如何选择求解器

- 压力基求解器应用范围覆盖从低压不可压缩流到高速压缩流
  - 需要的内存少
  - 求解过程灵活
- 压力基耦合求解器 (PBCS) 适用于大多数单相流，比分离求解器性能更好
  - 不能用于多相流（欧拉）、周期质量流和 NITA
  - 比分离求解器多用1.5–2倍内存
- 密度基耦合求解器 (DBCS) 适用于密度、能量、动量、组分间强耦合的现象
  - 例如: 伴有燃烧的高速可压缩流动，超高音速流动、激波干扰
- 隐式方法一般优于显式，因为其对时间步有严格的限制
- 显式方法一般用于流动时间尺度和声学时间尺度相当的情况（如高马赫激波的传播）

# 离散化（插值方法）

- 存储在单元中心的流场变量必须插值到控制体面上

$$V_{\text{cell}} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \sum_f^{N_{\text{faces}}} \rho_f \mathbf{V}_f \phi_f \cdot \mathbf{A}_f = \sum_f^{N_{\text{faces}}} \Gamma_\phi \nabla \phi_f \cdot \mathbf{A}_f + S_\phi V_{\text{cell}}$$

- 对流项的插值方法有：

- **First-Order Upwind** – 易收敛，一阶精度。
- **Power Law** – 对低雷诺数流动（ $\text{Re}_{\text{cell}} < 5$ ）比一阶格式更精确
- **Second-Order Upwind** – 尤其适用流动和网格方向不一致的四面体/三角形网格，二阶精度，收敛慢
- **Monotone Upstream-Centered Schemes for Conservation Laws (MUSCL)** – 对非结构网格，局部三阶精度，对二次流、旋转涡、力等预测的更精确
- **Quadratic Upwind Interpolation (QUICK)** – 适用于四边形/六面体以及混合网格，对旋转流动有用，在均匀网格上能达到三阶精度

## 插值方法（梯度）

- 为了得到扩散通量、速度导数，以及高阶离散格式，都需要求解变量的梯度

$$V_{\text{cell}} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \sum_f^{N_{\text{faces}}} \rho_f \mathbf{V}_f \phi_f \cdot \mathbf{A}_f = \sum_f^{N_{\text{faces}}} \Gamma_\phi \nabla \phi_f \cdot \mathbf{A}_f + S_\phi V_{\text{cell}}$$

- 单元中心的变量梯度由以下三种方法得到：
  - **Green-Gauss Cell-Based** – 可能会引起伪扩散
  - **Green-Gauss Node-Based** – 更精确，更少伪扩散，建议对三角形/四面体网格采用
  - **Least-Squares Cell-Based** – 建议对多面体网格采用，精度和属性同Node-based
- 面上的梯度用多级泰勒级数展开求得

# 压力的插值方法

- 使用分离算法时，计算面上压力的插值方法有：
  - **Standard** – 默认格式，对于近边界的沿面法向存在大压力梯度流动，精度下降（如果存在压力突变，建议改用**PRESTO!**）
  - **PRESTO!** – 用于高度旋流，包括压力梯度突变（多孔介质，风扇模型等）或者计算域存在大曲率的面
  - **Linear** – 当其他格式导致收敛问题或非物理解时使用
  - **Second-Order** – 用于压缩流，不适用多孔介质、风扇、压力突变以及VOF/Mixture 多相流
  - **Body Force Weighted** – 用于大体积力的情况，如高瑞利数自然对流或高旋流



# 压力速度耦合

■ 压力基求解器通过连续性方程和动量方程导出压力方程或压力修正方程

■ FLUENT中有四种耦合方式

– Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations (SIMPLE)

- 默认算法，稳健性好

– SIMPLE-Consistent (SIMPLEC)

- 对简单问题，收敛更快，如层流

– Pressure-Implicit with Splitting of Operators (PISO)

- 对非稳态流动或者高扭曲度网格有用

– Fractional Step Method (FSM) 对非稳态问题

- 和 NITA 合用，类似 PISO.

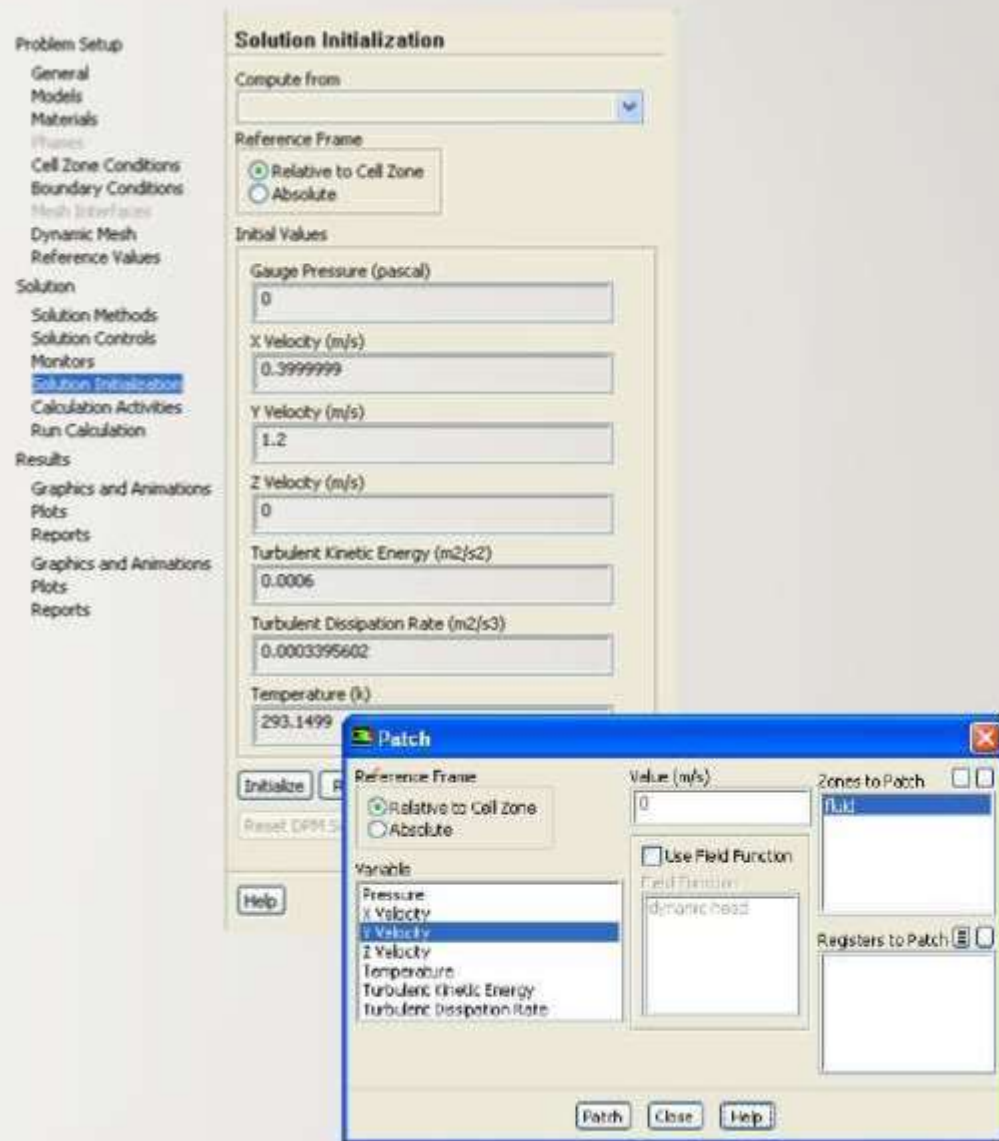
# 初始化

## ■ FLUENT 要求所有的求解变量有初始值

- 更真实的初值能提高收敛稳定性，加速收敛过程.
- 有些情况需要一个好的初值

## ■ 在特定区域对特定变量单独赋值

- 自由射流（喷射区高速）
- 燃烧问题（高温激活反应）
- 单元标注（自适应）



# FMG 初始化

## ■ Full MultiGrid (FMG) 能用来创建更好的初场。

- FMG 初始化对包括大的压力梯度和速度梯度的复杂流动有用
- 在粗级别网格上求解一阶欧拉方程
- 可用于压力基或密度基求解器，但限于稳态问题

## ■ 启动 FMG 初始化

- 压力基求解器: `/solve/init/fmg-initialization`
- 密度基求解器: 当选择密度基求解器后在GUI里可见

## ■ FMG 在粗网格上用多重网格求解

– 通过TUI 命令来设置

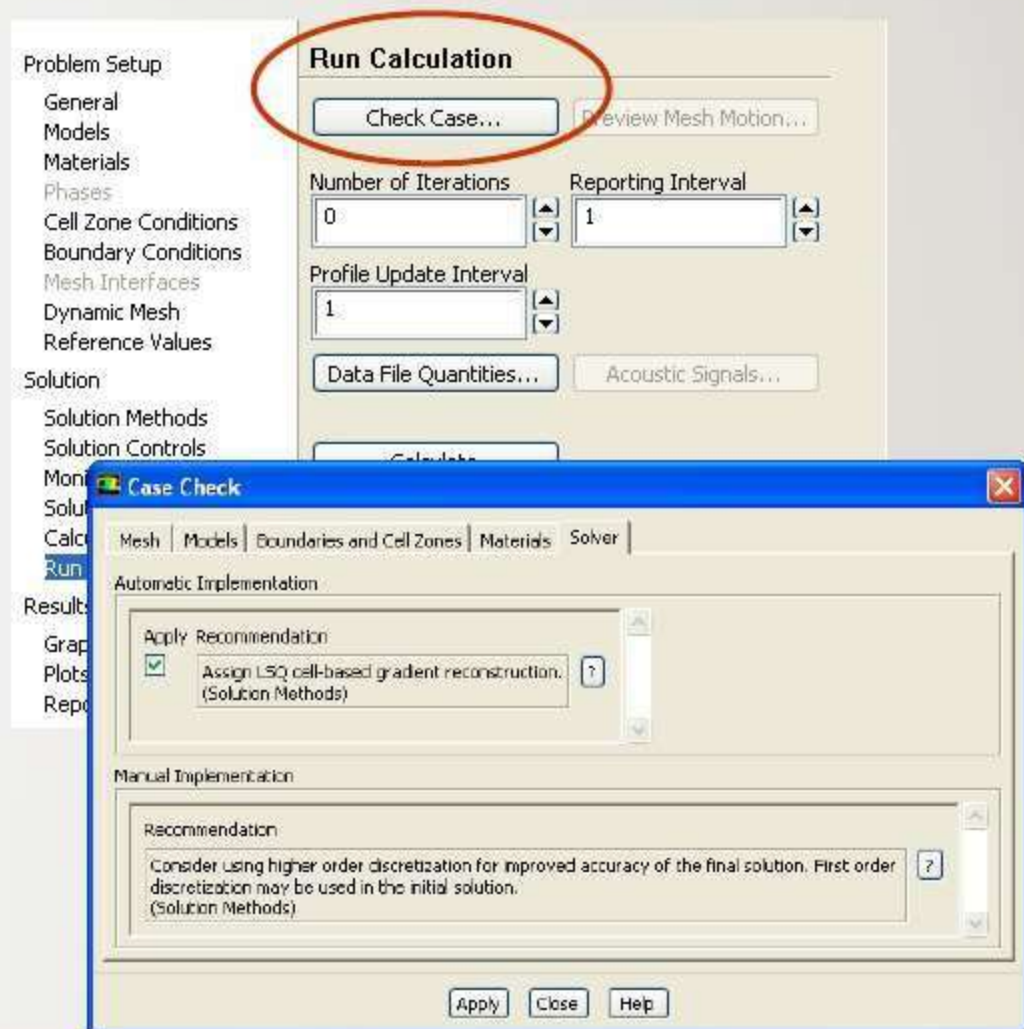
`/solve/init/set-fmg-initialization`

# 检查Case

■ Case Check 功能发现一些常见的错误设置和不一致性

– 提供选择参数和模型的指导

■ 用于可以直接应用或忽略这些建议



# 收敛性

## ■ 计算收敛时应该满足:

- 所有离散的守恒方程（动量、能量等）在所有的单元中满足指定的误差或者结果随计算不再改变
- 全局的质量、动量、能量和标量达到平衡

## ■ 使用残差历史曲线来监测收敛:

- 一般地，残差下降三个量级表示至少达到定性的收敛，流场的主要特征已经形成。
- 压力基求解器的能量残差应下降到 $10^{-6}$
- 组分残差应下降到 $10^{-5}$

## ■ 监测定量的收敛:

- 监测其他关键的物理量
- 确保全局的质量、能量、组分守恒。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/178005067024006023>